

CLIPPEDIMAGE= JP02001208059A

PAT-NO: JP02001208059A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001208059 A

TITLE: MAGNETIC BEARING DEVICE

PUBN-DATE: August 3, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

YAMAGUCHI, HITOSHI

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

SHIMADZU CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP2000012615

APPL-DATE: January 21, 2000

INT-CL (IPC): F16C032/04;F04D019/04

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic bearing device decreasing vibration results from characteristic vibration of a body of revolution to the low vibration level.

SOLUTION: A magnetic bearing device extracts vibration frequency element above standard vibration level of a body of revolution by analyzing a frequency analysis circuit 16 based on signal from a displacement sensor 71x, and eliminates electromagnetic current signal equivalent to the above vibration frequency element from electromagnetic current signal input into an excitation amplifier with a notch filter. As a result, vibration results from characteristic vibration of a rotor 4 can be decreased.

COPYRIGHT: (C) 2001, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-208059  
(P2001-208059A)

(43)公開日 平成13年8月3日(2001.8.3)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

FI

テ-マ-ト\* (参考)

F 1 6 C 32/04

F 1 6 C 32/04

A 3H031

F 0 4 D 19/04

F 0 4 D 19/04

A 3 J 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数1 O.L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2000-12615(P2000-12615)

(22)出題日 平成12年1月21日(2000.1.21)

(71)出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72)発明者 山口 均

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地  
株式会社島津製作所内

(74)代理人 100084412

弁理士 永井 冬紀

Fターム(参考) 3H031 EA07 EA12 EA15 FA13

3.J102 AA01 BA03 BA19 CA02 DA02

DA03 DA09 DB05 DB10 DB11

DB27 DB32 DB37 GA06

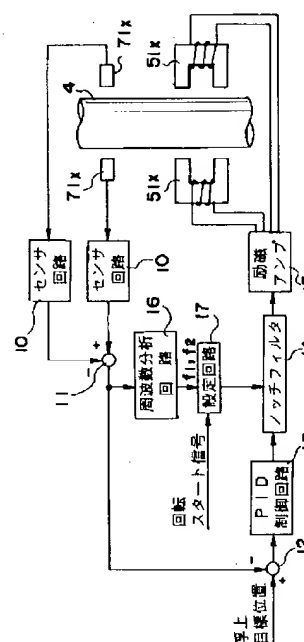
(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置

(57) 【要約】

【課題】 回転体の固有振動に起因する振動を低減し、振動レベルの小さな磁気軸受装置の提供。

【解決手段】 変位センサ71xの信号に基づいて回転体の振動を周波数分析回路16で分析して基準レベル以上の振動レベルを有する振動周波数成分を抽出し、励磁アンプ15に入力される電磁石電流信号から前記振動周波数成分と等しい周波数の電流信号成分をノッチフィルタ14により除去する。その結果、ロータ4の固有振動数に起因する振動を低減することができる。

【例 3】



4:口一タ 51x:電磁石 71x:駆位センサ

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転体の位置を検出する変位センサの信号に基づいた励磁電流を電磁石に供給し、前記電磁石により前記回転体を所望の位置に支持する磁気軸受装置において、前記励磁電流から特定周波数の電流成分を除去するフィルタ回路と、前記変位センサの信号に基づいて回転中に生じる前記回転体の振動を分析し、予め設定された基準レベル以上の振動レベルを有する振動周波数成分を抽出する振動分析装置と、前記フィルタ回路の前記特定周波数を前記振動分析装置で抽出した振動周波数成分の周波数に設定する設定回路とを備え、前記振動周波数成分と等しい周波数の電流成分が除去された励磁電流を前記電磁石に供給することを特徴とする磁気軸受装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ターボ分子ポンプ等に用いられる磁気軸受装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ターボ分子ポンプ等に用いられる磁気軸受装置では、磁気軸受によって支持されたロータの支持位置を変位センサにより検出し、その変位センサの変位信号に基づいて電磁石電流を制御することによりロータを適正な位置に支持している。この電磁石電流を決定する際には、変位信号に基づいてPIDフィードバック演算等が行われている。

【0003】ロータを高速回転させると、ロータの慣性中心を軸として回転しようとするが、ロータを変位センサが検出する幾何学的中心を軸に回転させると、ロータの回転周波数成分の振動を外部へ伝達することになる。例えば、磁気軸受式ターボ分子ポンプの場合では、ポンプ本体が振動することになり、ポンプが取り付けられている装置（半導体製造装置や電子顕微鏡など）への振動の影響が問題となる。そのため、磁気軸受式ターボ分子ポンプ等では、ノッチフィルタ等を用いて回転周波数成分を除いた電磁石電流を軸受電磁石に供給することにより、このような回転周波数の振動を抑えるようにしている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、回転体はそれぞれ特有の固有振動（例えば、曲げモードの固有振動数）を有しており、ロータを高速回転させると、振動成分には上述した回転周波数成分だけでなくロータ固有の振動成分が発生する。図5（a）は振動をFFT分析した結果の一例を示したものであり、ピークBは回転成分であってピークCは回転体の固有振動に起因する周波数成分である。図5（b）は回転体の回転数と固有振動数との関係を示す図であり、剛体モードと曲げ一次モード

とを示している。図5（b）に示すように、固有振動数は回転数によって変化する。なお、図5では回転数を周波数（Hz）で表示した。

【0005】図5（b）に示すモードの内、剛体モードの振動成分については軸受剛性を大きくすることによりある程度抑えることができるが、曲げモードの振動成分については簡単に抑えることができない。

【0006】本発明の目的は、回転体の固有振動に起因する振動を低減して、振動レベルの小さな磁気軸受装置を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】発明の実施の形態を示す図3および図4に対応付けて説明すると、本発明は、回転体4の位置を検出する変位センサ71xの信号に基づいた励磁電流を電磁石51xに供給し、電磁石51xにより回転体4を所望の位置に支持する磁気軸受装置に適用され、励磁電流から特定周波数の電流成分を除去するフィルタ回路14と、変位センサ71xの信号に基づいて回転中に生じる回転体4の振動を分析し、予め設定された基準レベルLs以上の振動レベルを有する振動周波数成分C1、C2を抽出する振動分析装置16と、フィルタ回路14の特定周波数を振動分析装置16で抽出した振動周波数成分C1、C2の周波数f1、f2に設定する設定回路17とを備え、振動周波数成分C1、C2と等しい周波数f1、f2の電流成分が除去された励磁電流を電磁石51xに供給することにより上述の目的を達成する。

【0008】なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が発明の実施の形態に限定されるものではない。

## 【0009】

【発明の実施の形態】以下、図1～図6を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は本発明による磁気軸受装置の一実施の形態を示す図であり、磁気軸受式ターボ分子ポンプのポンプ本体の断面図である。ポンプ本体1のケーシング20の内部には、複数段のロータ翼21およびネジ溝部22が形成されたロータ4と、ロータ翼21に対して交互に配設されるステータ翼23と、上記ネジ溝部22と対向するように配設される筒状部材24とが設けられている。ロータ4を非接触支持する電磁石はラジアル磁気軸受を構成する電磁石51、52とアキシャル磁気軸受を構成する電磁石53とを有し、これらは後述するように5軸制御形磁気軸受を構成している。

【0010】これらのラジアル電磁石51、52とアキシャル電磁石53に対応して、ラジアル変位センサ71、72およびアキシャル変位センサ73が設けられている。ロータ4を電磁石51、52、53により非接触支持しつつモータ6により回転駆動すると、吸気口側のガスは矢印G1のように背圧側（空間S1）に排気さ

れ、背圧側に排気されたガスは排気口フランジ26に接続された補助ポンプによりG2のように排気される。27、28は非常用のメカニカルベアリングである。

【0011】図2は5軸制御形磁気軸受の概念図であり、ロータ4の回転軸Jがz軸に一致するように示した。図1に示したラジアル電磁石51は、図2に示すようにx軸に沿ってロータ4を挟むように対向して配設される1組の電磁石51xと、y軸に沿ってロータ4を挟むように対向して配設される1組の電磁石51yとを有する。同様に、ラジアル電磁石52も、x軸に沿ってロータ4を挟むように対向して配設される1組の電磁石52xと、y軸に沿ってロータ4を挟むように対向して配設される1組の電磁石52yとを有する。

【0012】また、図1のアキシャル電磁石53は、ロータ4の下端に設けられたプレート41をz軸に沿って挟むように対向して配設される一組の電磁石53zで構成されており、上側の電磁石53zはプレート41を上方に吸引し、下側の電磁石53zはプレート41を下方に吸引する。これら5対の電磁石51x、51y、52x、52y、53により5軸制御形磁気軸受が構成されている。なお、図2では図示しなかったが、図1の変位センサ71、72は電磁石51x、51y、52x、52yに対応して4対の変位センサ71x、71y、72x、72yで構成されている。

【0013】図3は磁気軸受装置の構成を示す図であり、ラジアル磁気軸受の内の1軸（ラジアル電磁石51xに関する部分）分の構成を示したものである。なお、他の3軸に関するラジアル磁気軸受も同様の構成となっている。各変位センサ71xからの変位信号はセンサ回路10に各々入力され、センサ回路10で増幅された後に差分器11に入力される。差分器12では差分器11からのセンサ信号とロータ4の浮上目標位置を指示する基準信号を比較し、ロータ検出位置と目標位置との偏差がPID制御回路13に入力される。PID制御回路13は入力された信号に基づいて電流制御量をPID演算により算出し、電磁石電流のフィードバック制御を行うものであり、PID制御回路13から出力された電磁石電流信号はノッチフィルタ14を介して電磁石の励磁アンプ15に入力される。

【0014】一方、周波数分析回路16にも差分器11からの信号が入力され、FFT解析により周波数分析が行われる。図4(a)は周波数分析結果の一例を示したものであり、横軸が周波数、縦軸が振動レベルであって、ピークC1、C2の周波数はロータ4の固有振動数を示している。このように、差分器11を介して入力された変位信号の差分を周波数分析することにより、ロータ4の固有振動数を検出することができる。周波数分析回路16では、図4(a)に示すように、予め設定された周波数範囲Hにおいて振動レベルがしきい値レベルLs以上となるピークC1、C2を抽出し、ピークC1、

C2の周波数f1、f2を設定回路17に出力する。

【0015】設定回路17に周波数f1、f2が入力されると、設定回路17はノッチフィルタ14の不透過周波数を周波数f1、f2に設定する。その結果、ノッチフィルタ14はオフ状態（全て透過の状態）からオン状態（周波数f1、f2の信号を不透過）に切り換えられる。ノッチフィルタ14は特定の周波数（不透過周波数）付近の信号のみカットするフィルタであり、PID制御回路13からの電磁石電流信号から周波数f1、f2の成分をカットし、周波数f1、f2の成分が除去された電磁石電流信号を励磁アンプ15に出力する。

【0016】なお、本実施の形態では、ロータ4の回転数が定常回転となったならば、ノッチフィルタ14の不透過周波数は定常回転時に得られる周波数f1、f2にホールドされる。そして、再びモータが駆動された時に設定回路17に回転スタート信号が入力され、設定回路17は回転スタート信号を受信したならばノッチフィルタ14をリセットして不透過周波数（上述した定常回転時の周波数f1、f2）のホールドを解除する。

【0017】次いで、ロータ4の固有振動に起因する振動周波数成分の低減方法について説明する。上述したように、図4(a)に示したピークC1、C2はロータ4の固有振動に起因する振動成分（以下では固有振動成分と記す）を表しており、例えば図5(b)の曲げ一次モードの後ろ回り成分と前回り成分とを示している。図5(b)において、ロータ4が回転周波数f0で定常回転しているとき、後ろ回り成分（周波数f1）はピークC1となり、前回り成分（周波数f2）はピークC2となる。

【0018】なお、図4(a)の周波数範囲Hとしては、例えば、図5(b)の縦軸上の周波数f1から周波数fuまでの範囲（ $f1 \leq f \leq fu$ ）が選ばれる。このような周波数範囲Hでノッチフィルタ14を動作させることにより、ロータ加速時から定常回転時までの範囲で以下に述べるような振動低減効果を得ることができる。

【0019】ところで、PID制御回路からは、目標位置と変位センサ71xで検出されたロータ位置との偏差に基づいて図4(b)のような電磁石電流信号が出力される。従来は、この電磁石電流信号がアンプ15に入力されるが、本実施の形態では、ノッチフィルタ14によりピークC1、C2に対応する周波数成分（周波数f1、f2の成分）がカットされるため、図4(c)に示すような電磁石電流信号がアンプに入力される。その結果、図4(d)に示すようにロータ4の固有振動（周波数f1、f2）に起因するピークC1、C2の振動レベルが減少する。

【0020】なお、ピークC1、C2の振動レベルが小さくなったときにノッチフィルタ14を再びオフ状態にすると、ピークC1、C2の振動レベルが図4(a)の状態と図4(d)の状態とを繰り返すノッチングが生じ

るので、ロータ回転開始後にノッチフィルタ14をオンに切り換えた後は、設定回路17が回転スタート信号を受信するまでオン状態を保持する。すなわち、ロータ4が停止された後に再びロータ4の回転駆動が開始されると、設定回路17に回転スタート信号が入力され、ノッチフィルタ14がリセットされてオフ状態に切り換えられる。

【0021】図6は上述した磁気軸受制御の手順を示したフローチャートである。このフローチャートはターボ分子ポンプの磁気軸受電源がオンされるとスタートする。ステップS1は設定回路17が回転スタート信号を受信したか否かを判定するステップであり、回転スタート信号を受信するとステップS2へ進む。ステップS2では、ノッチフィルタ14の不透過周波数をリセットして周波数のホールドを解除する。ステップS3では、周波数分析回路16においてセンサ回路10からの変位信号に基づいて、図4(a)に示すような周波数分析を行う。

【0022】ステップS4はフィルタ適用範囲H(図4(a)参照)内の振動レベルがしきい値Ls以上か否かを判定するステップであり、Ls以上と判定されるとステップS5へ進み、Lsより小と判定されるとステップS3に戻る。ステップS5では、フィルタ適用範囲Hで振動レベルがLs以上となるピークを抽出する。ステップS6は、振動レベルがLs以上の状態が、予め定められた一定期間以上継続しているか否かを判定するステップであり、yesと判定されるとステップS7へ進み、noと判定されるとステップS3へ戻る。ステップS7では、ノッチフィルタ14の不透過周波数をステップS5で抽出したピークの周波数f(Ls以上のピークが複数ある場合には複数の周波数)に設定する。

【0023】ステップS8はロータ4が定常回転であるか否かを判定するステップであり、定常回転と判定されるとステップS9へ進み、定常回転でないと判定されるとステップS10へ進む。ステップS9へ進んだ場合には、ステップS9においてノッチフィルタ14の不透過周波数をホールドし、ステップS8へ戻る。一方、ステップS10へ進んだ場合には、ステップS10においてモータ6(図1参照)によるロータ4の回転駆動がオン状態かオフ状態かを判定し、オンと判定されるとステップS2へ戻り、オフと判定されるとステップS11へ進む。ステップS11は磁気軸受電源がオン状態かオフ状態かを判定するステップであり、オンと判定されるとステップS1へ戻り、オフと判定されると一連の処理を終了する。

【0024】上述した実施の形態では、ロータ4が定常回転の場合について説明したが、ロータ加速時にもノッチフィルタ14を動作させることにより、ロータ加速時においてもロータ4の固有振動に起因する異常振動を低

減させることができる。この場合、図5(b)に示すようにロータ回転数の変化に伴って固有振動数も変化するが、その固有振動数は変位センサ信号を周波数分析して得られるピークC1、C2の周波数として得られる。そのため、固有振動数の変化に追従してノッチフィルタ14の設定周波数も更新され、ロータ加速時も図4(d)のように固有振動成分を低減することができる。なお、上述した実施の形態では磁気軸受式ターボ分子ポンプを例に説明したが、本発明はターボ分子ポンプ以外の磁気軸受にも適用することができる。

【0025】以上説明した実施の形態と特許請求の範囲の要素との対応において、ノッチフィルタ14はフィルタ回路を、周波数分析回路16は振動分析装置を、ピークC1、C2は抽出された振動周波数成分をそれぞれ構成する。

#### 【0026】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、変位センサの信号に基づいて回転体の振動を分析して基準レベル以上の振動レベルを有する振動周波数成分を抽出し、その振動周波数成分と等しい周波数の電流成分をフィルタ回路を用いて励磁電流から除去するようにしているので、回転体の固有振動に起因する振動を低減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による磁気軸受装置の一実施の形態を示す図であり、磁気軸受式ターボ分子ポンプのポンプ本体の断面図である。

【図2】5軸制御形磁気軸受の概念図。

【図3】磁気軸受装置の構成を示す図。

【図4】ノッチフィルタ14の動作を説明する図であり、(a)、(b)はフィルタ動作前の振動レベルおよび電磁石電流信号を示し、(c)、(d)はフィルタ動作後の電磁石電流信号および振動レベルを示す。

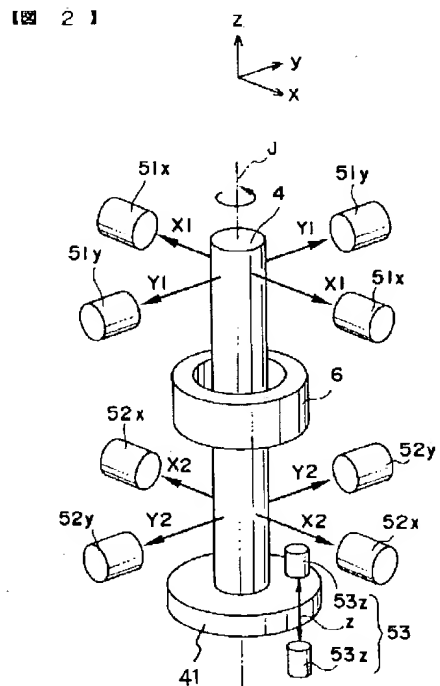
【図5】ロータの固有振動を説明する図であり、(a)は振動のFFT分析結果を示し、(b)は回転数と固有振動数との関係を示す図。

【図6】磁気軸受制御の手順を示したフローチャートである。

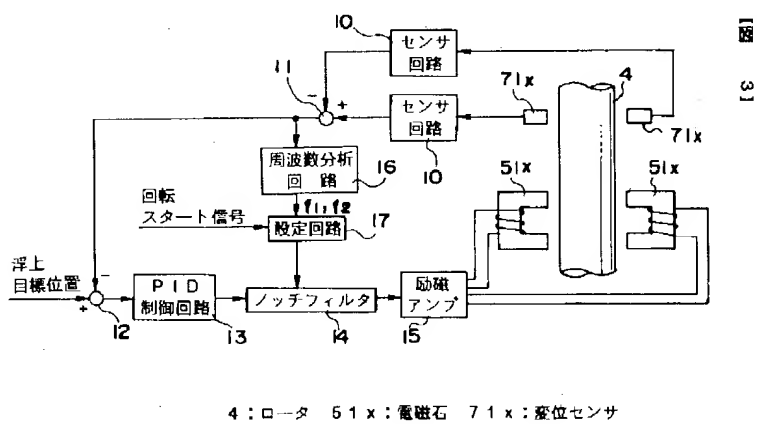
#### 【符号の説明】

- 1 ポンプ本体
- 4 ロータ
- 6 モータ
- 10 センサ回路
- 13 PID制御回路
- 14 ノッチフィルタ
- 15 励磁アンプ
- 16 周波数分析回路
- 17 設定回路

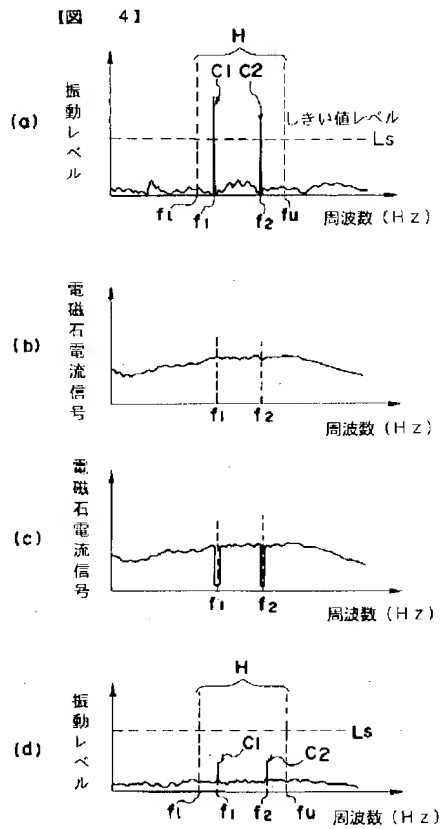
【図2】



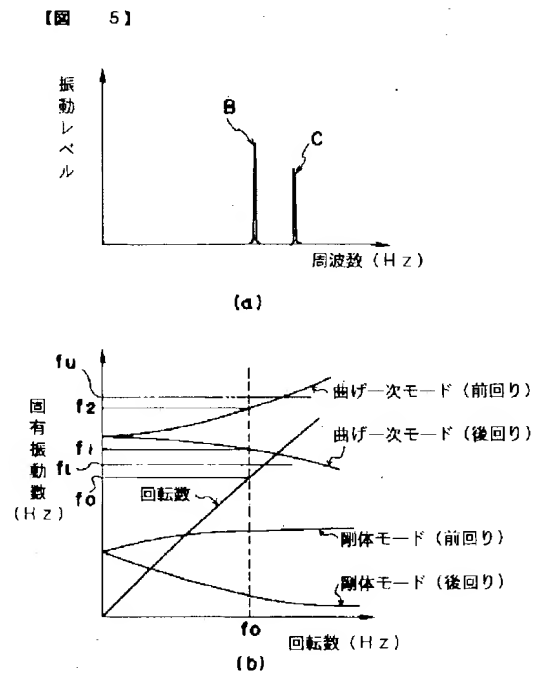
【図3】



【図4】



【図5】





【図6】

【図 6】

